

# بررسی استفاده از امولسیون آب-سوخت به منظور بهبود فرآیند احتراق سوخت مازوت

پژوهش نفت

سال بیست و سوم

شماره ۷۵

۱۳۹۲

صفحه ۶۷-۵۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۳/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۷/۱۰

حمیدرضا جاودان<sup>۱\*</sup>، عباس عباسی<sup>۲</sup>، علی قاسمی نژاد<sup>۳</sup>، کیان نجف‌زاده<sup>۳</sup>، فاطمه گودرزوند چگینی<sup>۱</sup> و رامین کرمی<sup>۱</sup>

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده انرژی

۲- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مکانیک

۳- سازمان بهره‌وری انرژی (سابا)

Javdanhr@ripi.ir

## مقدمه

یکی از راه‌های بهبود فرآیند احتراق، اتمیزاسیون مناسب سوخت و ایجاد قطرات ریزتر جهت احتراق کامل می‌باشد. اتمیزاسیون ناقص سوخت باعث می‌شود زمان لازم جهت احتراق کامل سوخت کافی نباشد و منجر به تشکیل کربن نسوخته در محفظه احتراق گردد. یکی از روش‌های بهبود اتمیزاسیون سوخت‌های مایع، ایجاد امولسیون سوخت با آب می‌باشد. امولسیون‌های آب-سوخت برای سوخت‌های سنگین دارای ۵ تا ۱۰٪ آب با اندازه ذرات در حدود ۵ تا ۲۰ میکرون می‌باشند که به صورت یکنواخت در تمام فاز پیوسته سوخت پخش می‌شوند [۱]. در سال‌های اخیر، تکنولوژی استفاده از سوخت‌های امولسیونی برای بویلرها، کوره‌ها و موتورهای دیزلی به منظور بهبود فرآیند اتمیزاسیون، توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. احتراق این نوع از امولسیون‌ها همراه با پدیده جالبی است که میکرو انفجار<sup>۱</sup> خوانده می‌شود. در این فرآیند، ریز شدن ناگهانی قطرات سوخت صورت می‌گیرد.

در هنگام استفاده از سوخت امولسیونی، قطرات موجود در سوخت گرم شده و پس از تبخیر شدن سریعاً منبسط می‌شوند.

## چکیده

از جمله مشکلات استفاده از سوخت‌های مایع سنگین عدم اتمیزاسیون مناسب قطرات سوخت می‌باشد که منجر به کاهش بازده احتراق می‌شود. یکی از روش‌های مورد استفاده جهت بهبود اتمیزه کردن سوخت مایع سنگین، بهره‌گیری از امولسیون آب-سوخت می‌باشد. به منظور بررسی اثرات استفاده از امولسیون سوخت و آب در فرآیند احتراق، در این مقاله آزمایشات میدانی بر روی احتراق امولسیون آب و سوخت مازوت با استفاده از ۷٪ وزنی آب و ماده پایدار کننده و همچنین سوخت مازوت بدون هیچ‌گونه افزودنی انجام شده و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سوخت امولسیونی باعث افزایش دمای گازهای خروجی از دودکش، بالا رفتن درصد اکسیژن در محصولات احتراق و همچنین کاهش مصرف سوخت می‌شود. موازنه جرم و انرژی و میزان انرژی مفید حاصل از احتراق سوخت امولسیونی در مقایسه با سوخت مازوت بدون هیچ‌گونه افزودنی از موارد دیگری است که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: بهبود فرآیند احتراق، غلظت  $SO_x$ ، غلظت  $NO_x$ ، کاهش مصرف سوخت

1. Microexplosion

مکانیکی، پایداری محدودی داشته و اندازه ذرات عمدتاً دارای یکنواختی کمتری می‌باشند. استفاده از مواد افزودنی شیمیایی به‌عنوان عامل فعال سطحی و پایدار کننده می‌تواند ویژگی‌های مربوط به امولسیون آب در سوخت را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد.

در این مقاله نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی امولسیون آب و سوخت مازوت با استفاده از ۷٪ وزنی آب و ماده پایدار کننده، به منظور بررسی اثرات استفاده از امولسیون سوخت و آب در فرآیند احتراق ارائه می‌شود.

### روش انجام آزمایشات

برای انجام آزمایشات، کوره‌ای به قطر ۱/۷ m و طول ۵ m مطابق شکل ۱ مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که محفظه داخلی کوره از آجر نسوز پوشیده شده و لایه بیرونی آن برای جلوگیری از اتلاف حرارتی، عایق کاری شده است. سوخت مورد نیاز مشعل از مخزنی به ظرفیت ۳۰۰ lit تامین شده و جهت گرم کردن مازوت داخل مخزن تا دمای ۸۰°C، از چهار عدد گرم کننده الکتریکی با مجموع توان ۳/۵ kw استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که مشعل دارای گرم کننده مستقل می‌باشد. دمای مازوت پس از پمپ شدن به داخل مشعل توسط این هیتر به دمای ۱۲۰°C افزایش یافته و به نازل‌ها منتقل می‌گردد. دمای هوای محیط در زمان آزمایش ۱۳°C و رطوبت نسبی هوا ۳۰٪ بوده است.

برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در طول انجام آزمایشات از تجهیزات اندازه‌گیری ارائه شده در جدول ۱ استفاده شده است. همچنین مخزن سوخت بر روی یک باسکول دیجیتالی مستقر شده است. بنابراین با اندازه‌گیری وزن سوخت مصرفی توسط باسکول در بازه‌های مشخص زمانی که توسط یک زمان سنج در طول انجام آزمون‌ها صورت گرفت، دبی سوخت مصرفی مشخص شده است.

### روش بررسی

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا کوره با سوخت مازوت بدون هیچ‌گونه ماده افزودنی راه‌اندازی می‌گردد (آزمایش A).

این رشد سریع قطرات بخار، بلافاصله سوخت مایع اطراف را به اجزای کوچک‌تری می‌شکند که به دلیل افزایش سطح خارجی قطرات، سوخت با بازدهی بالایی می‌سوزد. استفاده از امولسیون آب-سوخت موجب می‌گردد مقدار دوده و ذرات معلق در گازهای خروجی به علت واکنش آب-گاز در محفظه‌های احتراق با دمای بالا کاهش پیدا کند [۲]. از سوی دیگر سوخت امولسیونی باعث کاهش دما و در نتیجه کاهش غلظت NO<sub>x</sub> در گاز خروجی می‌شود.

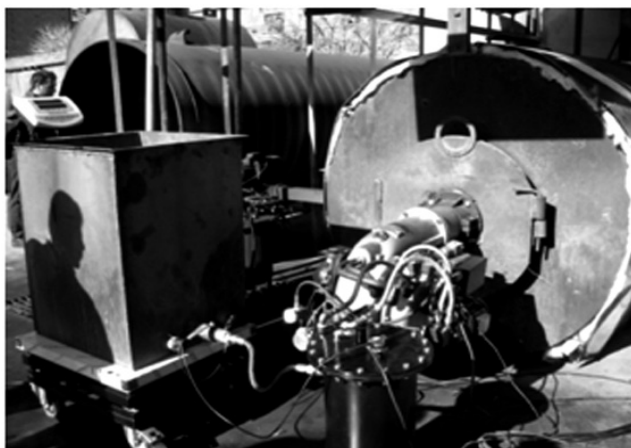
در سال‌های اخیر مطالعات تجربی و تئوری به منظور بررسی اثرات استفاده از امولسیون آب - سوخت انجام شده است. در مطالعه‌ای که به صورت تجربی بر روی یک امولسیون پایدار سوخت با محتوی آب به میزان ۳۰٪ انجام شده، میزان دمای شعله ناشی از احتراق سوخت مایع سنگین و سوخت امولسیونی مقایسه گردیده است. براساس نتایج به دست آمده از این بررسی، بهبود شرایط فیزیکی واکنش موجب تسریع فرایند احتراق می‌گردد. دمای شعله به دلیل حرارت نهان آب افت کرده و همچنین غلظت ذرات معلق SO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub> و هیدروکربن‌های آلی محلول (SOF) کاهش می‌یابد [۳].

در مطالعه دیگری که به صورت تئوری بر روی بویلر نیروگاه ۳۰۰ مگاواتی اسویت<sup>۲</sup> مصر انجام شده است، نحوه انتقال حرارت، میزان انتشار ذرات خروجی و هوای اضافی مورد نیاز ناشی از احتراق سوخت امولسیونی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این بررسی نیز افزایش دمای گازهای خروجی از کوره، فوق اشباع و دوباره گرمکن‌ها و کاهش دمای نقطه شبنم را به دلیل استفاده از سوخت امولسیونی نشان می‌دهد. همچنین با افزایش غلظت آب از ۰ تا ۱۰٪، بازده بویلر به میزان ۰/۷۵٪ افزایش یافته و انتشار ذرات SO<sub>x</sub> و NO<sub>x</sub> به ترتیب به میزان ۲۰ و ۵/۵ kg/h و ضریب هوای اضافی به میزان ۱۳٪ کاهش می‌یابد [۴].

کنترل مناسب امولسیون شامل کنترل اندازه قطرات آب و درصد آب اضافه شده بسیار ضروری است. فرآیند امولسیون‌سازی ممکن است به صورت امولسیون‌سازی مکانیکی و یا با استفاده از ماده پایدار کننده و اختلاط مناسب آن با آب و سوخت انجام شود. فرآیند امولسیون‌سازی

1. Particulate Matter

2. Assuit



شکل ۱- آزمایشگاه انجام آزمون مشعل در کارخانه مشعل کاوه

جدول ۱- تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمایشات

دقت	مدل	مارک	کاربرد	نام دستگاه
±/۲	VARIO <sub>plus</sub>	MRU	با قابلیت اندازه‌گیری: O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> در دودکش	Gas Analyzer
			با قابلیت اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی در دودکش	
±/۲	SIR۱۰۰B	SUMMIT	با قابلیت اندازه‌گیری دمای سطوح: ۱۸- تا ۱۰۰۰ °C	Infrared Thermometer
±/۴	۴۰۰	TESTO	با قابلیت اندازه‌گیری دبی و دمای گاز	Gas Flow Meter
±/۲	TI۵۰۰	IRTek	تهیه عکس حرارتی	Thermal Camera

یک بازه زمانی و با چندین نمونه برداری انجام شد تا از شرایط پایدار سیستم اطمینان حاصل گردد.

### نتایج آزمایشات

#### الف) نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی

در جدول ۲ تا ۴ نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گرفته در آزمایشات ارائه شده است. همچنین در جدول ۵ نتایج آنالیز سوخت مورد استفاده در آزمایشات خلاصه شده است.

#### ب) نتایج تصاویر حرارتی گرفته شده

به منظور در نظر گرفتن وضعیت دمای شعله و دمای بدنه کوره در مراحل مختلف آزمایش، عکس برداری حرارتی از زوایای مختلف کوره صورت گرفته که نتایج آن در شکل‌های ۲ تا ۷ رسم شده است. در جدول ۶ ماکزیمم دمای سطح اتصال مشعل به کوره، شعله مشعل و دودکش در آزمایشات مختلف ارائه شده است.

پس از طی زمان حدود ۴۰ دقیقه دمای گازهای خروجی از دودکش ثابت شده و شرایط پایدار برقرار می‌شود. در این زمان اولین نمونه‌گیری از دود خروجی از دودکش کوره انجام می‌گیرد.

لازم به ذکر است پراب دستگاه آنالیزور احتراق مجهز به ترموکوپل و همچنین اندازه‌گیر سرعت گازها می‌باشد که همزمان علاوه بر اندازه‌گیری میزان اجزای محصولات احتراق، دما و دبی گازهای خروجی از دودکش کوره را نیز اندازه‌گیری می‌نماید. در همین هنگام دبی جریان هوای مکشی از طریق فن احتراق و همچنین عکس‌های حرارتی کوره ثبت می‌گردد. بعد از انجام آزمایشات مرحله اول (آزمایش A)، امولسیون مازوت و آب با استفاده از ۷٪ وزنی آب و ماده پایدار کننده در مخزنی مجزا تهیه و سپس به مخزن سوخت منتقل می‌شود و مجموعه اندازه‌گیری‌های مذکور بر روی آن صورت می‌گیرد (آزمایش B). میزان ماده پایدار کننده به ازای ۱ تن سوخت مازوت، ۴ lit می‌باشد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری دبی سوخت در آزمایشات

آزمایش	زمان (min)	جرم سوخت مصرفی (kg)	دبی سوخت مصرفی (kg/min)	متوسط دبی سوخت مصرفی (kg/min)
A	۵	۶/۲	۱/۲۴	۱/۱۷
	۵	۵/۶	۱/۱۲	
	۵	۵/۶	۱/۱۲	
	۳	۳/۶	۱/۲	
B	۳	۳/۸	۱/۲۶	۱/۱۲۵
	۵	۵/۲	۱/۰۴	
	۵	۵/۶	۱/۱۲	
	۵	۵/۴	۱/۰۸	

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری دبی هوای مکشی از طریق فن کنار مشعل

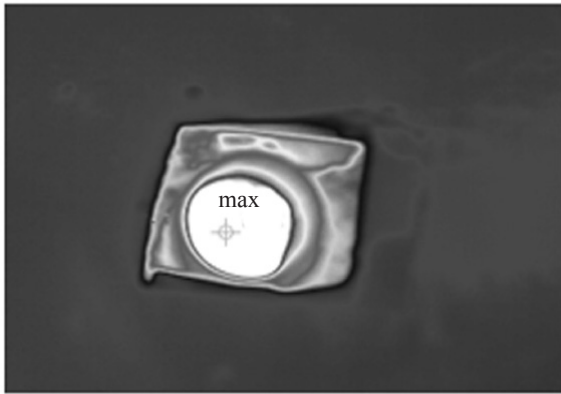
آزمایش	میانگین سرعت (m/s)	دبی هوای مکش شده (m <sup>3</sup> /hr)
A	۱۰/۴	۱۵۹۱/۰
B	۱۰/۰	۱۵۳۴/۸

جدول ۴- نتایج آنالیز محصولات احتراق در آزمایشات مختلف

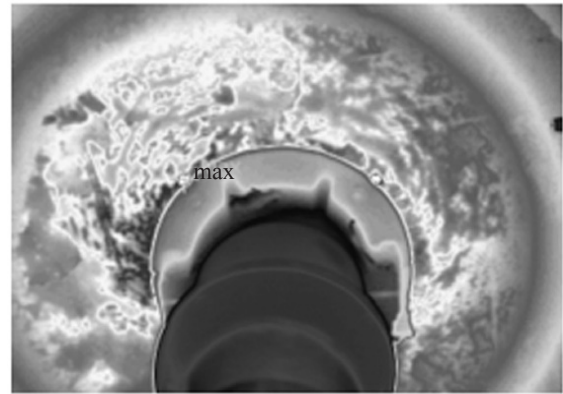
TEST	T-gas (°C)	T-air (°C)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	Exc. Air (%)	NO (ppm)	NO (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
A	۸۹۰/۷	۱۷/۹	۷/۱۶	۱۱/۴	۵۷	۷۲	۱/۵۲	۲۱۹	۲۹۳	۲۶۱	۵۳۶	۴۲	۱۲۰۳	۳۴۳۸
A	۹۰۷	۱۸	۷/۵۱	۱۱/۳	۵۸	۷۲	۱/۵۶	۲۱۹	۲۹۳	۲۶۳	۵۴۱	۴۴	۱۲۶۳	۳۶۱۱
B	۹۱۸/۱	۱۸/۷	۷/۸۳	۱۱/۲	۵۵	۶۸	۱/۶	۲۲۱	۲۹۵	۲۶۳	۵۴۱	۴۳	۱۲۵۵	۳۵۸۹
B	۹۴۱/۹	۲۰/۷	۷/۸۸	۱۱/۹	۵۶	۷۰	۱/۶	۲۳۵	۳۱۵	۲۹۰	۵۹۵	۵۵	۱۶۰۴	۴۵۸۶

جدول ۵- نتایج آنالیز سوخت مورد استفاده

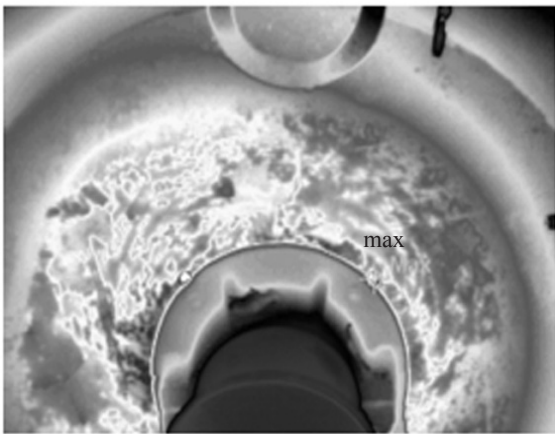
نتایج	استاندارد آزمایش	عناوین آزمایش	نتایج	استاندارد آزمایش	عناوین آزمایش
۱۱/۱۳ (wt. %)	ASTM D189	میزان کربن باقیمانده در ۱۰٪	۱۵ (ppm)	ASTM D5863	Fe
۴۳/۴۱ MJ/kg	ASTM D240	ارزش حرارتی ناخالص	<۱ (ppm)	ASTM D5863	Na
۴۱/۰۵۵ MJ/kg	ASTM D240	ارزش حرارتی کامل	۹۳ (ppm)	ASTM D5863	V
۲/۹۶ (wt. %)	ASTM D4294	میزان گوگرد	۸۵ (wt. %)	CHN Analyzer	C %
۱۰۸/۷°C	ASTM D93	نقطه اشتعال	۱۱ (wt. %)		H%
۶°C	ASTM D97	نقطه ریزش	۰/۸ (wt. %)		N%
۰/۹۶۶۴ g/mL	ASTM D4052	دانستیه ۱۵ °C			
۳۹/۰۷ cSt	ASTM D445	ویسکوزیته دینامیکی ۱۰۰ °C			



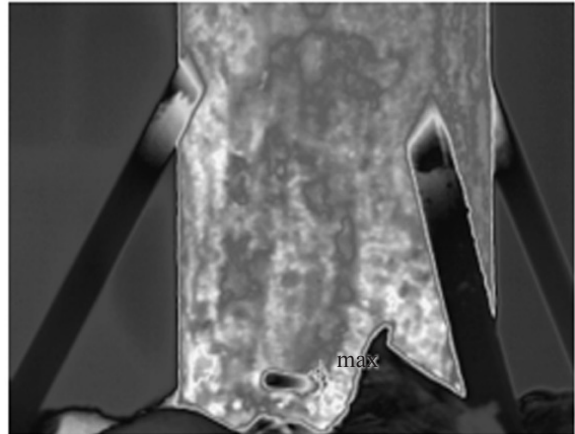
شکل ۳- تصویر شعله مشعل از داخل دریچه روی کوره  
A آزمایش (max=۱۱۲۴°C)



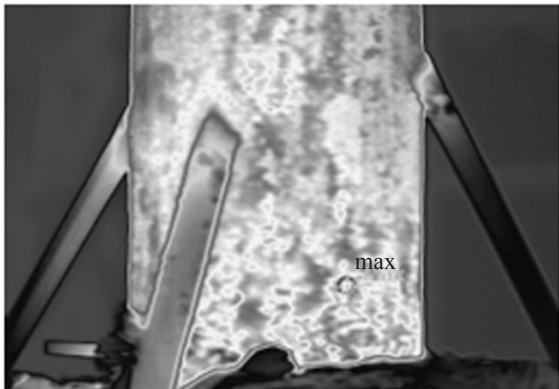
شکل ۲- تصویر از پشت مشعل (max=۱۰۶۴°C)- آزمایش A



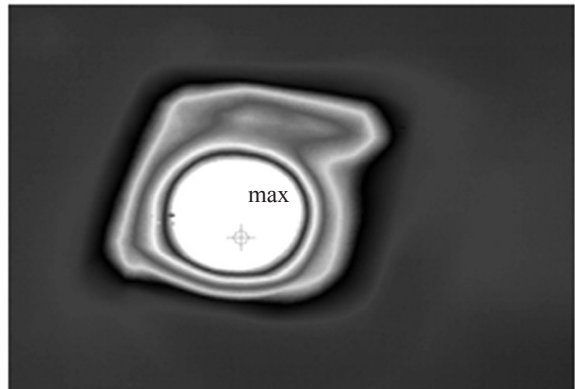
شکل ۵- تصویر از پشت مشعل (max=۱۰۱۷°C)- آزمایش B



شکل ۴- تصویر بدنه دودکش کوره (max=۸۴۰°C)- آزمایش A



شکل ۷- تصویر بدنه دودکش کوره (max=۹۱۲°C)- آزمایش B



شکل ۶- تصویر شعله مشعل از داخل دریچه روی کوره  
B آزمایش (max=۱۱۴۳°C)

جدول ۶- ماکزیم دمای سطح اتصال مشعل به کوره، شعله و سطح خارجی دودکش در آزمایشات مختلف

ماکزیم دما (°C)			آزمایش
مربوط به سطح خارجی دودکش	شعله	مربوط به سطح اتصال مشعل به کوره	
۸۴۰	۱۱۲۴	۱۰۶۴	A
۹۱۲	۱۱۴۳	۱۰۱۷	B

**بحث و بررسی**

**(الف) موازنه جرم و انرژی**

بر اساس نتایج به دست آمده در این آزمایش، موازنه جرم و انرژی برای آزمایش A مطابق شکل ۸ خواهد بود. همانگونه که مشاهده می شود، کل انرژی آزاد شده در احتراق سوخت معادل ۶۵۳ kW است که ۴۷۹ kW از طریق گاز خشک خروجی از دودکش و ۳۵ kW به واسطه رطوبت موجود در هوا و آب تشکیل شده در واکنش احتراق از دودکش خارج شده است. همچنین ۴۴ kW صرف تبخیر آب شده و ۹۵ kW نیز از بدنه بویلر از طریق تلفات جابه جایی و تشعشعی خارج شده است.

همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، موازنه جرم و انرژی برای آزمایش B مطابق شکل ۹ خواهد بود. همانطور که مشاهده می شود، کل انرژی آزاد شده در احتراق سوخت معادل ۶۴۲ kW است که ۴۷۵ kW از طریق گاز خشک خروجی از دودکش و ۳۲ kW به واسطه رطوبت موجود در هوا و آب

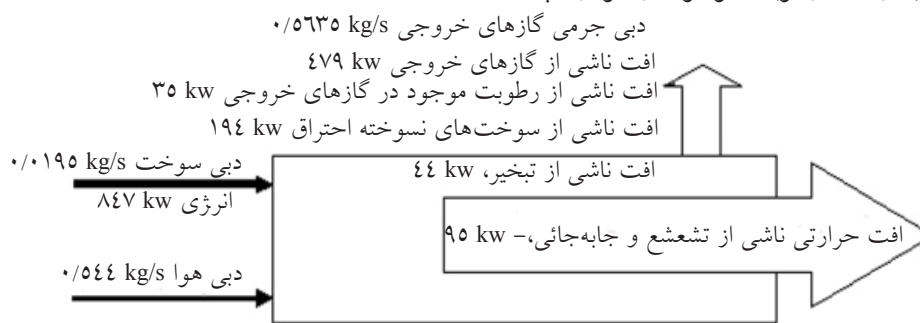
تشکیل شده در واکنش احتراق از دودکش خارج شده است. همچنین ۳۹ kW صرف تبخیر آب شده و ۹۵ kW نیز از بدنه بویلر به طریق تلفات جابه جایی و تشعشعی خارج شده است.

**(ب) اثر افزایش دمای گازهای خروجی از دودکش**

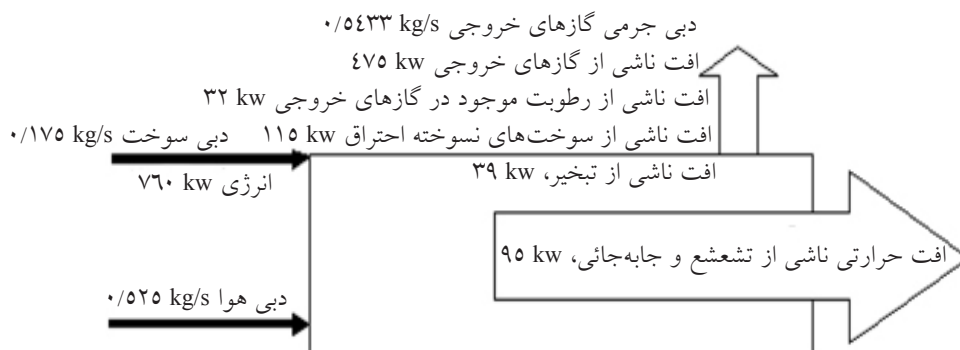
نتایج حاصل از اندازه گیری دمای گازهای خروجی از دودکش در آزمایشات مختلف که در شرایط یکسان انجام شده، نشان می دهد که استفاده از امولسیون آب- سوخت موجب افزایش دمای محصولات احتراق می شود، به گونه ای که دما در آزمایش A از ۸۹۸/۸۵ °C با ۳/۵٪ افزایش به ۹۳۰ °C درجه رسیده است.

**(ج) اثر کاهش مستقیم مصرف سوخت**

در جدول ۷ میزان مصرف سوخت در آزمایشات مختلف که با شرایط یکسان انجام گرفته، ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که مصرف سوخت پس از به کارگیری امولسیون آب- سوخت کاهش چشمگیری داشته است



شکل ۸- موازنه جرم و انرژی در آزمایش A



شکل ۹- موازنه جرم و انرژی در آزمایش B

جدول ۷- میزان مصرف سوخت در آزمایشات مختلف

متوسط مصرف سوخت		آزمایش
درصد تغییر نسبت به آزمایش A	(kg/min)	
-	۱/۱۷	A (سوخت مازوت)
-۳/۸۴	۱/۱۲۵	B (با در نظر گرفتن ۷٪ آب موجود در امولسیون سوخت و آب)
-۱۰/۵۷	۱/۰۴۶	B (بدون در نظر گرفتن ۷٪ آب موجود در امولسیون سوخت و آب)

در پایین‌تر از این دما، آب در محصولات احتراق به حالت مایع تبدیل شده و با ترکیبات گوگردی محصولات احتراق تشکیل اسید سولفور و اسید سولفوریک می‌دهد که ایجاد خوردگی شدید در دودکش می‌نماید. با توجه به جدول ۵ و شکل ۱۰، حداقل دمای آگروز معادل ۲۵۰°F یا ۱۲۰°C به دست می‌آید [۴]. لذا بر این مبنا حداکثر انرژی قابل دسترس حاصل از سوخت در آزمایشات مختلف مطابق جدول ۸ می‌باشد.

با توجه به اینکه مواد افزودنی مطابق جدول ۸ باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد، لذا با مصرف مقدار کمتری سوخت، توانی مشابه و یا بالاتر در آزمایش B نسبت به آزمایش A (سوخت مازوت بدون هیچ گونه افزودنی) به دست آمده است. برای بررسی دقیق‌تر مطابق رابطه ۱، بازده کوره در آزمایشات مختلف محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۹ ارائه شده است:

$$\eta = \frac{m_{fluegas} c_p (T_{fluegas} - T_{dewpoint})}{m_{fuel} HHV} \quad (1)$$

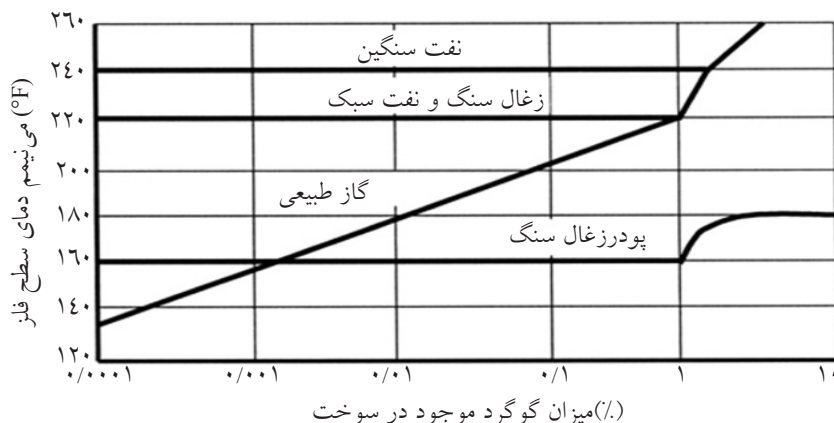
درخصوص آزمایش B، لازم به یادآوری است که ۷٪ سوخت مورد استفاده را آب تشکیل داده است. لذا با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌ها و لحاظ نمودن این نکته، مصرف سوخت ۱۰/۵۷٪ کاهش داشته است.

#### (د) اثر افزایش درصد اکسیژن در محصولات احتراق

درصد اکسیژن در محصولات احتراقی در آزمایشات مختلف که با شرایط یکسان انجام گرفته، مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که درصد اکسیژن در محصولات احتراق در آزمایش B نسبت به آزمایش A (سوخت مازوت) افزایش داشته است. درصد حجمی اکسیژن در محصولات احتراق در حالت A ۷/۳۳ بوده که در حالت B به ۷/۸۵۵ رسید که ۷/۲٪ افزایش یافته است.

#### (ه) مقایسه انرژی مفید در مراحل آزمایش

با توجه به اینکه سوخت مازوت دارای ترکیبات گوگردی است، لذا حداقل دمای گازهای خروجی از دودکش معمولاً دمای نقطه شبنم اسیدی در نظر گرفته می‌شود. زیرا



شکل ۱۰- حداقل دماهای مناسب برای محیط فلزی [۲]

جدول ۸- میزان انرژی مفید تولیدی در آزمایشات مختلف

آزمایش	متوسط میزان انرژی تولیدی در احتراق (kW)
A	۴۷۸/۸۸
B	۴۷۵/۱۵

جدول ۹- بازده حرارتی کوره در آزمایشات مختلف

آزمایش	توان وارد شده همراه سوخت (kW)	بازده (درصد)
A	۸۴۶/۴۹	۵۶/۵۷
B	۷۵۹/۶۷	۶۲/۷۲

همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده شود، بازده حرارتی کوره در آزمایش B نسبت به آزمایش A (سوخت مازوت) حدود ۶٪ افزایش یافته است. همچنین در صورتی که انرژی مفید در آزمایشات مختلف، معادل انرژی مفید در آزمایش A در نظر گرفته شود، میزان مصرف سوخت در هر آزمایش بر اساس بازده ارائه شده در جدول ۹ قابل محاسبه می‌باشد. بر این اساس درصد کاهش مصرف سوخت در آزمایش B نسبت به آزمایش A (سوخت مازوت) محاسبه نتایج آن در جدول ۱۰ ارائه شده است.

مطابق جدول ۱۰، در صورتی که انرژی مفید در آزمایشات مختلف، معادل انرژی مفید در آزمایش A در نظر گرفته شود، میزان مصرف سوخت در آزمایش B نسبت به آزمایش A به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت به ازای انرژی ثابت آزاد شده در خروجی، از آلاینده‌های تولیدی در خروجی کاسته می‌شود. این موضوع در کاهش تلفات انرژی ناشی از سوخت نسوخته خروجی از آگزوز (موازنه‌های انرژی در آزمایشات مختلف) نیز قابل مشاهده است.

#### استفاده از امولسیون نفت کوره و آب در واحد صنعتی

تولید امولسیون نفت کوره و آب، نیازمند استقرار واحد امولسیون‌سازی در نیروگاه می‌باشد. این واحد وظیفه اختلاط سوخت و آب را دارد، به نحوی که سوخت جدید دارای مشخصات زیر باشد:

قطر ذرات آب پخش شده در سوخت امولسیونی باید یکسان و کمتر از  $10 \mu\text{m}$  باشد [۵]. سوخت امولسیونی باید پایدار باشد.

یعنی تا زمانی که سوخت امولسیونی به محفظه‌های احتراق منتقل می‌شود، هیچ جدایی بین سوخت هیدروکربنی پایه و آب اتفاق نیفتد [۶].

پایداری سوخت امولسیونی نباید تحت تأثیر دما و دبی جریان ورودی به محفظه احتراق قرار گیرد [۶]. مقدار عامل فعال سطحی مورد استفاده برای امولسیون سازی باید تا حد امکان کم باشد.

بر اساس اعلام به‌عمل آمده از شرکت NanOil دانمارک که یکی از تولیدکنندگان تجهیزات تولید امولسیون سوخت و آب می‌باشد، اطلاعات زیر اخذ شده است:

ظرفیت دستگاه که مناسب برای کاربردهای نیروگاهی می‌باشد:  $20000 \text{ lit/h}$

نسبت سوخت به آب در امولسیون سوخت و آب تولیدی: ۹۰٪ به ۱۰٪

میزان مواد افزودنی (عامل فعال سطحی) مصرفی جهت پایدار نمودن امولسیون تولیدی:  $3 \text{ lit/ton fuel}$

هزینه خرید، نصب و راه‌اندازی دستگاه با ظرفیت  $20000 \text{ lit/h}$ :  $1/300/000 \$$

هزینه مواد افزودنی (عامل فعال سطحی) مصرفی جهت پایدار نمودن امولسیون تولیدی:  $8/5 \$/\text{lit}$

در جدول ۱۱ محاسبات اقتصادی در خصوص به‌کارگیری امولسیون سوخت و آب در یک واحد از نیروگاه حرارتی شهید رجایی بر اساس اطلاعات ارائه شده است. با توجه به اطلاعات اخذ شده از شرکت NanOil، میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در صورت استفاده از امولسیون سوخت و آب، حداقل ۱۰٪ می‌باشد.



جدول ۱۰- میزان کاهش مصرف سوخت در آزمایشات مختلف

درصد کاهش مصرف سوخت	آزمایش
درصد تغییر نسبت به آزمایش A	
-	A
۹/۸	B

جدول ۱۱- هزینه‌های اقتصادی فایده در خصوص به‌کارگیری سیستم تولید امولسیون سوخت و آب در یک واحد نیروگاه شهید رجایی

تعداد و ظرفیت هر واحد	۴×۲۵۰ MW		
نفت کوره مصرفی هر واحد	۶۰×۱۰ <sup>۳</sup> lit/h		
تعداد روزهای مصرف نفت کوره در سال	۱۲۰ روز		
<b>مشخصات سیستم تولید امولسیون سوخت و آب</b>			
تعداد و ظرفیت دستگاه‌های مورد نیاز برای تولید امولسیون سوخت و آب برای هر واحد (یک دستگاه به عنوان رزرو در نظر گرفته شده است)	۴×۲۰۰۰۰ lit/h		
آب مورد نیاز برای تهیه امولسیون سوخت و آب (سوخت=۹۰٪ و آب=۱۰٪)	۶۰۰۰ lit/h		
انرژی الکتریکی مصرفی جهت تولید امولسیون سوخت و آب	۳×۴۰ KWh		
مواد افزودنی (عامل فعال سطحی) مصرفی جهت پایدار نمودن امولسیون تولیدی	۱۸۰ lit/h		
<b>بهای حامل‌های انرژی</b>			
بهای نفت کوره (فوب خلیج فارس)	بهای آب	بهای برق	
۰/۶۶ \$/lit	۰/۰۲ \$/lit	۰/۸۰ \$/KWh	
<b>هزینه‌های ثابت و متغیر ناشی از به‌کارگیری سیستم تولید امولسیون سوخت و آب</b>			
هزینه آب مصرفی سالیانه	هزینه انرژی الکتریکی مصرفی سالیانه	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید تجهیزات	هزینه سالیانه مواد افزودنی جهت تولید امولسیون
۳۴۶۰۰۰/(روز)۱۲۰	۲۸۰۰۰/(روز)۱۲۰	۵۲۰۰۰۰۰	۴۴۰۰۰۰/(روز)۱۲۰
<b>میزان صرفه‌جویی سوخت</b>			
حداقل میزان سوخت صرفه‌جویی شده سالیانه (بر مبنای ۱۰٪ صرفه‌جویی)	۱۷۲×۱۰ <sup>۶</sup> /(روز)۱۲۰		
حداقل هزینه سوخت صرفه‌جویی شده سالیانه (بر مبنای ۱۰٪ صرفه‌جویی)	۱۱۳۰۰۰۰۰/(روز)۱۲۰		
زمان بازگشت سرمایه	۴ ماه (در طول دوره مصرف نفت کوره سرمایه‌گذاری بر می‌گردد)		
میزان افزایش راندمان واحد نیروگاهی در دوره‌ای که نفت کوره مصرف می‌کند.	٪ ۴/۳		
در تحلیل هزینه/فایده ارائه شده، کاهش هزینه‌های زیست محیطی و همچنین کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ناشی از به‌کارگیری امولسیون سوخت در نظر گرفته نشده است. لازم به‌ذکر است سود خالص از سال دوم به بعد پس از اجرای طرح ۶/۵ میلیون دلار در سال به ازاء هر واحد خواهد بود (۲۶ میلیون دلار برای چهار واحد)			

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این مقاله می‌توان گفت که آب در سوخت امولسیونی، یک نقش فیزیکی دارد. به گونه‌ای که با اتمیزه کردن ثانویه سوخت، منجر به تولید قطرات کوچک‌تر و احتراق سریع شده و شرایط مطلوب‌تری را برای احتراق کامل به وجود می‌آورد.

به علت افزایش بازده احتراق با استفاده از سوخت‌های امولسیونی، مقدار هوای اضافی سرد مورد نیاز که برای احتراق کامل سوخت به کوره‌ها دمیده می‌شود، کاهش

می‌یابد. بنابراین زمان ماند گازهای احتراق گرم در کوره‌ها افزایش پیدا می‌کند و از اتلاف حرارت از کوره‌ها و بویلرها کاسته می‌شود. در نتیجه میزان مصرف سوخت کاهش می‌یابد [۷].

از آنجا که استفاده از امولسیون آب-سوخت نیازمند تغییرات خاصی در طراحی کوره و مشعل‌ها نمی‌باشد، بنابراین می‌توان با بهره‌گیری از ماده پایدار کننده و اختلاط مناسب آب و سوخت، از لحاظ اقتصادی به نتایج مطلوبی دست یافت.

## مراجع

- [1]. H. Ishida, K. Tachibana, *A Mechanical Emulsification Technology of Petroleum Fuels Without Surface Active Agent*, Dept. of Electronic Control Engineering, Nagaoka National College of Technology, 2007.
- [2]. H. Ishida, *Kinematic Viscosity of Mechanically Emulsified A-Heavy Oil*, Dept. of Electronic Control Engineering, Nagaoka National College of Technology, 2010.
- [3]. A. Emam, *The Impact of Chemical Additives of fuel to improve Generating Plants performance*, Cairo Electricity Production Company (CEPC), 18 Mar. 2009
- [4]. H.S. Kim "PM Formation-Decomposition and Combustion Characteristics of Heavy Fuel Emulsion Oil", Translated from Journal of the JIME Vol.41, No.4, 2006
- [5]. *FuelSolv FMG2960 Improves Reliability and Productivity (Case Study)*, General Electric Company, 2005: [www.gewater.com](http://www.gewater.com)
- [6]. Marcos V. H., "Performance characteristics of a water-in-oil fired steam generator for a 300-mw power plant", Energy Vol. 20, No 10, pp. 1055-1066, 1995
- [7]. Marcos Y. Corpuz, Gary M. Reggiani, *Additives to control stack emissions in utility boilers*, ©1998, BetzDearborn Inc.